

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial



“AHORRO ENERGÉTICO MEDIANTE LA
OPTIMIZACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE LA
BOMBA CPH EN LOS HRSG DE UNA CENTRAL
TÉRMICA DE CICLO COMBINADO DE 870
MEGAVATIOS UBICADA EN EL DISTRITO DE
CHILCA - LIMA”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título
profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Autor:

Rony Luis Gutarra Díaz

Asesor:

M. Sc. Marco Antonio Díaz Díaz

Lima - Perú

2021

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	10
RESUMEN EJECUTIVO	11
ABSTRACT.....	12
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	30
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	90
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDADIONES	95
REFERENCIAS	97
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Consumo Mensual de Energía Auxiliar de la Central Termoeléctrica Kallpa	20
Tabla 2 Consumo Mensual de Energía Auxiliar de la Central Termoeléctrica Kallpa.....	22
Tabla 3 Características técnicas de las Turbinas de Gas de la Central Termoeléctrica Kallpa	33
Tabla 4 Características técnicas de los Compresores de la Central Termoeléctrica Kallpa.....	33
Tabla 5 Características técnicas de los Generadores Eléctricos la Central Termoeléctrica Kallpa.....	34
Tabla 6 Clasificación de los HRSG, y Tipos de la Central Termoeléctrica Kallpa.	44
Tabla 7 Características técnicas de la Turbina de Vapor de la Central Termoeléctrica Kallpa.....	51
Tabla 8 Características técnicas del Generador Eléctrico de la Turbina de Vapor D11 de la Central Termoeléctrica Kallpa	52
Tabla 9 Características técnicas del motor eléctrico CPH de la Central Termoeléctrica Kallpa	77
Tabla 10 Resumen de balance de masa y energía del precalentador del HRSG con la propuesta de mejora.....	82
Tabla 11 Consumo Mensual de Energía Activa de la Bomba CPH.....	90
Tabla 12 Consumo Mensual de Energía Activa de la Bomba CPH	91
Tabla 13 HRSG2.....	92

Tabla 14	Consumo Mensual de Energía Activa de las 3 Bombas CPH.....	95
Tabla 15	Resumen consumo Mensual de Energía Activa de la Bomba CPH.....	96
	Consumo Mensual de la Bomba CPH.....	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Foto panorámica de la Central Termoeléctrica Kallpa.....	14
Figura 2 Ubicación geográfica de la Central de la Central Termoeléctrica Kallpa.....	15
Figura 3 Evolución y crecimiento de la Central Termoeléctrica Kallpa.....	16
Figura 4 Organización, plana gerencial de la compañía Inkia Energy.....	17
Figura 5 Organigrama de la Central Termoeléctrica Kallpa.....	18
Figura 6 Consumo de Energía Auxiliar Turbina a Gas (TGs) y Turbina Vapor (TV).....	21
Figura 7 Porcentaje de consumo de energía auxiliar por áreas de la de la Central Termoeléctrica Kallpa.....	21
Figura 8 Consumo de energía auxiliar Panta Tratamiento de Agua de la Central Termoeléctrica Kallpa.....	22
Figura 9 Consumo de energía auxiliar Edificio Administrativo de la Central Termoeléctrica Kallpa.....	23
Figura 10 Consumo de Energía Auxiliar HRSG.....	23
Figura 11 Temperatura del punto de rocío del vapor de agua al escape de la turbina a gas.....	27
Figura 12 Esquema de montaje del ciclo simple y combinado.....	31
Figura 13 Principio y equipos del ciclo simple y combinado.....	31
Figura 14 Foto panorámica del HRSG de la Central Termoeléctrica Kallpa,.....	32
Figura 15 Esquema del Ciclo Joule Brayton Simple Abierto.....	35
Figura 16 Esquema de Montaje Eje Simple.....	36
Figura 17 Esquema de Montaje Eje Doble.....	36
Figura 18 Esquema turbinas con combustión secuencial.....	37

Figura 19	Ciclo sencillo (no regenerativo) de Brayton en el plano PV.....	38
Figura 20	Ciclo sencillo (no regenerativo) de Brayton en el plano TS.....	38
Figura 21	Diagrama de montaje de la turbina de gas de la Termoeléctrica Kallpa.....	39
Figura 22	Planta térmica de ciclo combinado de simple presión.....	35
Figura 23	Ciclo sencillo de Rankine en el plano PV.....	40
Figura 24	Ciclo sencillo de Rankine en el plano TS.....	41
Figura 25	HRSG, con un solo nivel de presión y con recalentamiento.....	41
Figura 26	Perfil de temperaturas de un HRSG, con un solo nivel de presión y sin recalentamiento.....	42
Figura 27	Perfil de un HRSG, tipo horizontal.....	40
Figura 28	Proceso precalentador de condensado del HRSG.....	44
Figura 29	Bomba CPH del HRSG de la Central Termoeléctrica Kallpa.....	46
Figura 30	Secuencia de Arranque Bomba CPH del HRSG.....	48
Figura 31	Diagrama de Flujo Proceso del HRSG.....	50
Figura 32	Diagrama de Flujo de Proceso del Ciclo Combinado de la Central Termoeléctrica Kallpa.....	53
Figura 33	Eficiencia Energética y sus ventajas.....	54
Figura 34	Triangulo de Tensiones, Impedancias y Potencia.....	57
Figura 35	Potenciales de ahorro energético en la Industria.....	59

Figura 36	Principio Magnético de motor eléctrico.....	60
Figura 37	Características Energéticas Principales del Motor Eléctrico.....	62
Figura 38	Principales componentes de un motor de inducción trifásico.....	66
Figura 39	Esquema de las Transformaciones Energéticas de una Bomba Centrífuga Acoplada a un Motor Eléctrico.....	67
Figura 40	Perfil de temperaturas de un HRSG, con un solo nivel de presión.....	70
Figura 41	Diagrama de entradas y salidas del HRSG.....	71
Figura 42	Cronograma de actividades de la implementación.....	76
Figura 43	Balance de masa y energía del precalentador HRSG.....	79
Figura 44	Lógica de Control Arranque de la bomba CPH del HRSG antes de la implementación.....	84
Figura 45	Diagrama de flujo precalentador del HRSG.....	85
Figura 46	Lógica implementado en el sistema de control CPH-Bloque Motor MCC.....	87
Figura 47	Tendencia operación de la bomba CPH del 14 Feb 2020 al 16 Mar 2020.	89
Figura 48	Consumo de Energía Bomba CPH periodo 2019-2020.....	93
Figura 49	Consumo de Energía Auxiliar Bomba CPH periodo 2019-2020.....	94

ÍNDICE DE ECUACIONES

		Pág.
Ecuación 1	Potencia alterna trifásica.....	49
Ecuación 2	Potencia Activa.....	49
Ecuación 3	Potencia Reactiva.....	49
Ecuación 4	Potencia Aparente.....	50
Ecuación 5	Factor de carga motor eléctrico.....	56
Ecuación 6	Potencia de entrada motor	57
Ecuación 7	eléctrico.....	57
Ecuación 8	Eficiencia del motor eléctrico..... Diferencia de potencial.....	57
Ecuación 9	Corriente Eléctrica.....	59
Ecuación 10	Primera ley de la termodinámica.....	62
Ecuación 11	Balance de masa y energía en el precalentador del HRSG.....	62
Ecuación 12	Eficiencia térmica.....	64

RESUMEN EJECUTIVO

La siguiente implementación de ahorro energético tiene como propósito optimizar el funcionamiento de la bomba CPH (*Condensate Preheater*) de acuerdo a la temperatura optima de ingreso al precalentador del HRSG (*Heat Recovery Steam Generators*) de la Central Térmica de Ciclo Combinado Kallpa de 870 MW ubicada en el distrito de Chilca, Lima – Perú; esto a fin de reducir el Consumo de Energía Auxiliares de la Central.

Para ello se realizó el diagnóstico de operación actual de la bomba CPH, así como el cálculo del consumo de energía eléctrica, y finalmente el análisis termodinámico balance de masa y energía en el precalentador del HRSG.

La implementación tomó 46 días laborables, cuyas etapas comprenden: Gestión De Control de Cambios; Implementación, Establecer Recursos a Utilizar; Establecer Funciones, Procedimientos y Documentación; Medir y Mantener la Gestión.

Se obtuvo un ahorro mensual energético de 42,46 MW-h y económico de \$ 2 123,17 por las 3 bombas CPH del HRSG1-2-3 después de aplicar el método termodinámico balance de masa y energía en el precalentador de condensado del HRSG.

De acuerdo a los resultados obtenidos producto de la implementación se cumple con el objetivo de reducir el consumo de auxiliares de energía de la Central Térmica de Ciclo Combinado Kallpa de 248,5 MW-h a 206,04 MW-h, el cual representa un ahorro mensual en promedio de 42,46 MW-h. Esto en condiciones normales de operación del ciclo combinado para una configuración de 3x1.

ABSTRACT

The following energy saving implementation aims to optimize the operation of the CPH (Condensate Preheater) pump according to the optimal inlet temperature to the HRSG (Heat Recovery Steam Generators) preheater of the 870 MW Kallpa Combined Cycle Power Plant located in the district of Chilca, Lima - Peru; this in order to reduce the Auxiliary Power Consumption of the Plant.

For this, the current operation diagnosis of the C PH pump was carried out, as well as the calculation of the electrical energy consumption, and finally the thermodynamic analysis of the mass and energy balance in the HRSG preheater.

The implementation took 25 working days, whose stages include: Change Control Management; Implementation, Establish Resources to Use; Establish Functions, Procedures and Documentation; Measure and Maintain Management.

A monthly energy saving of 42.46 MW-h and an economic saving of \$ 2 123.17 was obtained for the 3 CPH pumps of the HRSG1-2-3 after applying the thermodynamic method of mass and energy balance in the HRSG condensate preheater .

According to the results obtained as a result of the implementation, the objective of reducing the consumption of auxiliary energy at the Kallpa Combined Cycle Thermal Power Plant from 248.5 MW-h to 206.04 MW-h is met, which represents a monthly savings on average of 42.46 MW-h. This under normal combined cycle operating conditions for a 3x1 configuration.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS

1. LIBROS:

Kosow, I. (s.f.). *Máquinas Eléctricas*. Mac Graw Hill.

2. PUBLICACIONES

Khan Academy. (s.f.). *¿Qué es la primera ley de la termodinámica?* Obtenido de <https://es.khanacademy.org/science/physics/thermodynamics/laws-of-thermodynamics/a/what-is-the-first-law-of-thermodynamics>

Openstax College Physics. (s.f.). *La primera ley de la termodinámica*. Obtenido de <https://cnx.org/contents/Ax2o07UI@9.4:-xG0g7hf@7/The-First-Law-of-Thermodynamics>

3. TESIS:

Brown, D., & Ricardo, C. (2009). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Quito.

Celigueta, I. (2018). *Análisis y Optimización de Ciclos de Potencia para plantas CSP. (Máster Universitario de Ingeniería Industrial)*. Universidad Pública de Navarra, Pamplona.

Enio, T. (2019). *Optimización Topológica de un sistema de Cogeneración de Energía en Ciclo Combinado y su influencia de una planta Productora de Fibras de Hilado en Seco. (Tesis de grado)*. Universidad Nacional del Callao, Lima.

Factor Energía. (Febrero de 2017). *¿Qué es la eficiencia energética?* Obtenido de Factor de Energía: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-es-laeficiencia-energetica/>

Martínez, P., & Oscar, C. (2013). *Análisis Energético de los Sistemas de Bombeo del Molino I de Carton Colombia. (Tesis de grado)*. Universidad Autónoma de Occidente, Cali.

Mendoza, J. (2002). *Análisis del Diseño Termodinámico de Centrales Eléctricas de Ciclo Combinado. (Tesis de Grado)*. Universidad de Piura, Piura.

Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Anuario Ejecutivo de Electricidad*. Obtenido de Ministerio de Energía y Minas: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/AnuarioEjecutivoFinal-Rev-Final2.pdf>

Proyecto 987. (s.f.). *Potencia en un circuito de corriente alterna*. Obtenido de Corriente Alterna: http://www.proyecto987.es/corriente_alterna_11.html

Quispe, M. (2018). *Balance energético por procesos de la central termoeléctrica de ciclo combinado Chilca 2 para patrón de referencia operativa a plena carga. (Tesis de Grado)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Sánchez, E. (2018). *El desafío de la energía consiste en aprovechar las oportunidades de reducción*. Obtenido de MundoHvacr: <https://www.mundohvacr.com.mx/2014/10/eficiencia-energetica-en-sistemas-de-bombeo-y-compresores/>

Torres, J., & Barzola, L. (2017). *Estudio Técnico Económico en la optimización del uso del gas natural de una central termoeléctrica de ciclo combinado de 850 Megavatios ubicada en el distrito de Chilca-Lima. (Tesis)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

4. PÁGINAS WEB:

Kallpa Generación S.A. (2020). Obtenido de <https://kallpageneracion.com.pe/nosotros/>